TRANSFERENCIA DE CALOR

MI31A-Fenómenos de Transporte en Metalurgia Extractiva

Prof. Tanai Marín

31 Julio 2007

Clase #2

Transporte de Energía

- Transporte molecular de energía:
  - Conducción térmica, mecanismo básico es el movimiento molecular del medio.
  - actúa tanto en sólidos como en fluidos
- Transporte convectivo de energía:
  - ocurre debido al movimiento del seno del fluido
- Transporte radiativo:
  - No requiere un medio material de transporte

Transporte Molecular de Energía

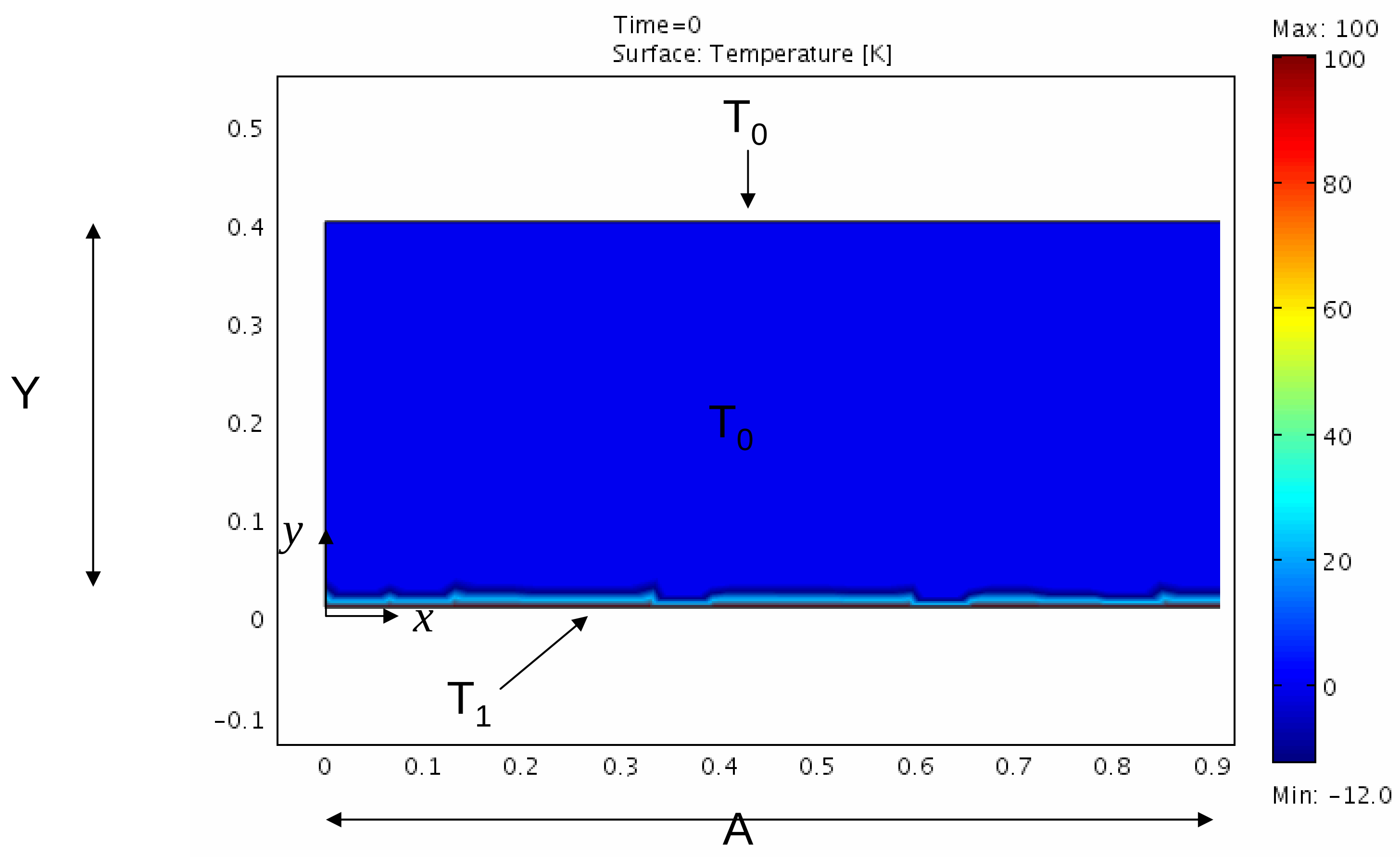
- La conductividad térmica involucra el movimiento y vibraciones de moléculas o átomos.
- Cuando una sustancia se calienta, las moléculas o átomos comenzarán a vibrar más intensamente.
- Mayor interacción energética entre moléculas vecinas, transfiriendo el exceso de energía.

Transporte Molecular de Energía

- Cada vez que exista una diferencia de temperatura, conductividad térmica ocurre
- La propiedad que define la velocidad a que esto ocurre se conoce como conductividad
- Ante la presencia de un gradiente de Temperatura, la energía fluirá desde la zona caliente hacia la zona fría

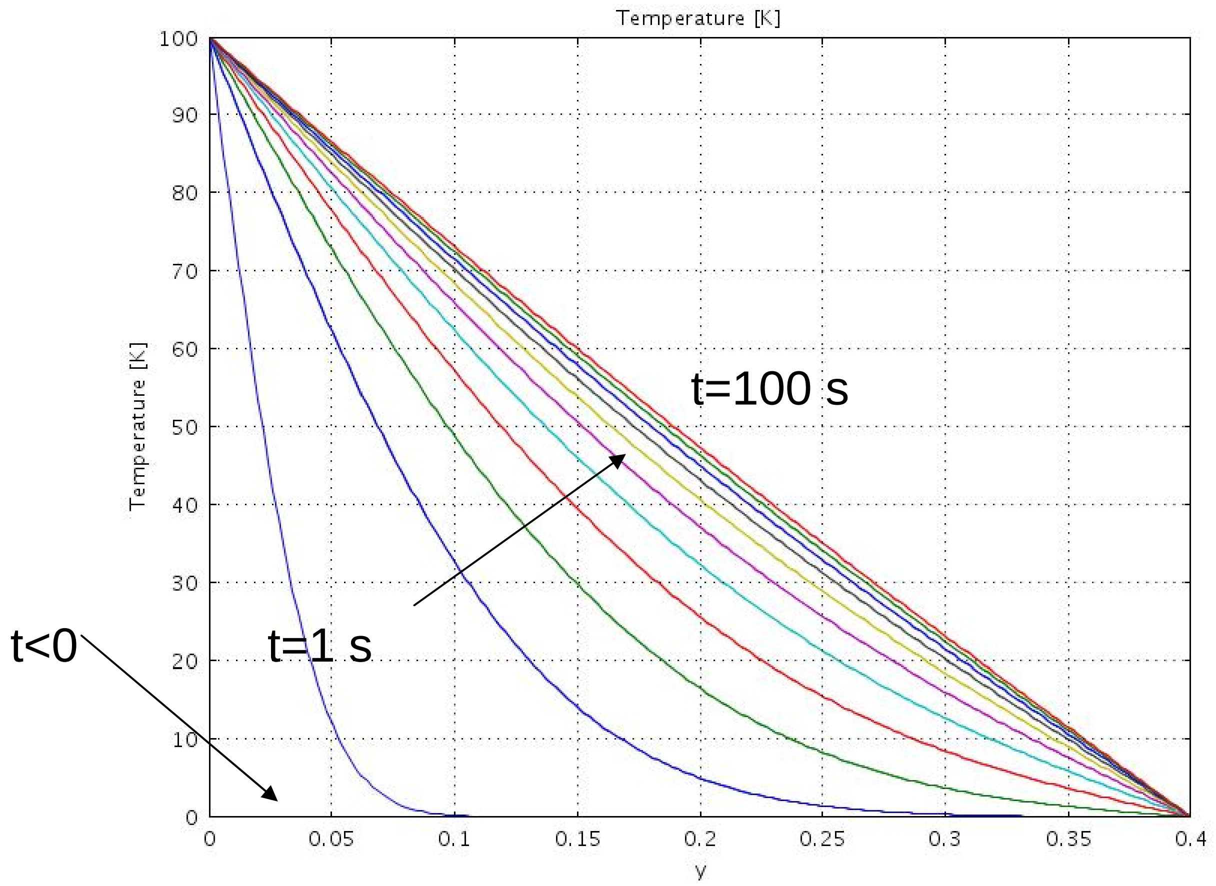
Ley de Fourier de Conductividad

- Consideremos la siguiente situación



Ley de Fourier de Conductividad

- El perfil de Temperaturas a lo largo de la dirección *y* en función del tiempo:



Ley de Fourier de Conductividad

- En estado estacionario, un flujo constante de calor Q[W] es necesario para mantener la diferencia de temperatura ΔT[K].
- La siguiente relación es válida:

$$\frac{Q}{A} = k\frac{\Delta T}{Y}$$

- y en Forma diferencial:

$$\boxed{q_y = -k\frac{dT}{dy}} \longrightarrow$$

Forma 1D de la Ley de Conducción de Calor de Fourier

Ley de Fourier de Conductividad

- Si la temperatura varía en las tres direcciones, entonces se puede escribir:

$$q_x = -k \frac{\partial T}{\partial x} \qquad q_y = -k \frac{\partial T}{\partial y} \qquad q_z = -k \frac{\partial T}{\partial z}$$

- En forma vectorial:

$$\mathbf{q} = -k \nabla T$$

  - Forma tridimensional de la Ley de Fourier.
  - Transporte molecular de calor para medios <u>isotrópicos</u>

Conductividad Térmica - Rangos

- En gases, varía típicamente entre:
  - 0.01 a 0.1 [W/(m K)]
- Para líquidos no metálicos:
  - 0.1 a 1 [W/(m K)]
- Para líquidos y sólidos metálicos:
  - 10 a 400 [W/(m K)]
- Para materiales aislantes:
  - 0.02 a 1 [W/(m K)]

Conductividad Térmica

- Ejemplos: a 20ºC, la conductividad del agua es 0.6 W/(m K) mientras que la del aire es 0.026 W/(m K)

- Para metales, la conductividad disminuye con el aumento de la temperatura, mientras que para gases y materiales aislantes, ésta incrementa.

Ejercicio

- Calcule el flujo de calor a través de una capa de 1 cm de espesor para una diferencia de temperatura de 10 ºC, para los siguientes materiales:

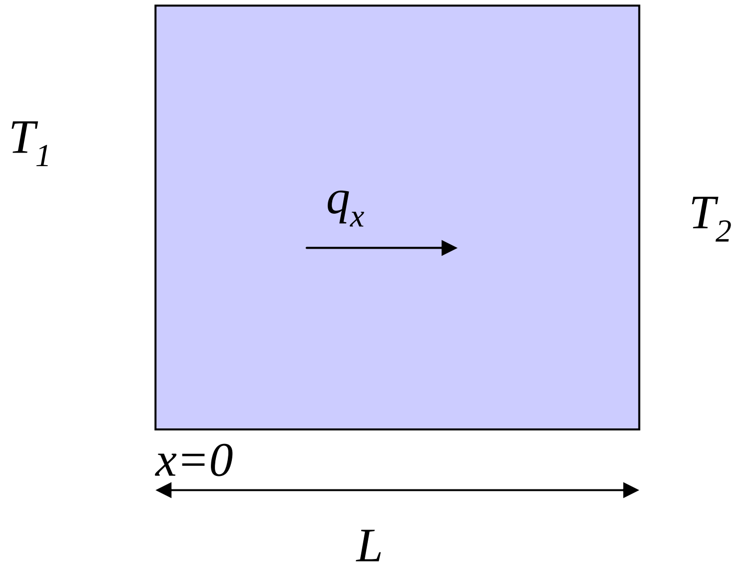
Material	*k* [W/(m K)]	*q*[kW/m^2]
Cobre	388	
Fierro	62	
Vidrio	1.2	
Madera	0.17	
Ladrillo	0.8	
Aislante	0.1	
Agua	0.62	
Aire	0.025	

Ejercicio

- Encuentre una expresión para calcular la temperatura dentro de un bloque de lado L en estado estacionario, suponiendo que:
- Transferencia de calor ocurre sólo en la dirección x
- Conductividad térmica, conocida k
- Condiciones de borde:
  - en $x=0$, $T = T_1$
  - en $x=L$, $T = T_2$

Ejercicio

- Expresión para la temperatura dentro de un bloque, en estado estacionario



Ejercicio

- Solución:

El flujo de calor, que entra por un extremo debe ser igual al flujo que sale: $q_x = q_{x+\Delta x}$

Por lo tanto: $\dfrac{dq_x}{dx} = 0$

Introduciendo la expresión de la Ley de Fourier:

$$\frac{d}{dx}\left(-k\frac{dT}{dx}\right) = 0 \Rightarrow \frac{dT}{dx} = C_1$$

y:

$$T(x) = C_1 \cdot x + C_2 \quad ; 0 \leq x \leq L$$

Introduciendo las condiciones de borde:

$$T(x) = \left(\frac{T_2 - T_1}{L}\right)x + T_1 \quad ; 0 \leq x \leq L$$

Predicción Teórica de k a baja densidad

- Para gases monoatómicos a baja densidad, se puede aplicar la teoría cinética de los gases de Chapman-Enskog

$$k\left[\frac{\text{cal}}{\text{cm}\cdot\text{s}\cdot\text{K}}\right]=1.9891\cdot 10^{-4}\,\frac{\sqrt{T[\text{K}]/M\,[\text{g}/\text{mol}]}}{\sigma\left[\mathring{\text{A}}\right]^{2}\Omega_k}$$

Ver, Tablas E1 y E2 de Bird, et. Al.

Ejemplo

- Calcular la conductividad térmica de Ne a 1 atm y 373.2 K

Ejemplo

- Calcular la conductividad térmica de Ne a 1 atm y 373.2 K

$$\sigma = 2.789\left[\mathring{\mathrm{A}}\right] \qquad \varepsilon/\kappa = 35.7[\mathrm{K}] \qquad M = 20.18\left[\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}\right]$$

$$\Omega_k = 0.821$$

$$k\left[\frac{\mathrm{cal}}{\mathrm{cm}\cdot\mathrm{s}\cdot\mathrm{K}}\right] = 1.9891\cdot10^{-4}\,\frac{\sqrt{373.2/20.18}}{2.789^2 0.821}$$

$$k\left[\frac{\mathrm{cal}}{\mathrm{cm}\cdot\mathrm{s}\cdot\mathrm{K}}\right] = 1.338\cdot10^{-4}$$

Dependencia de k en la temperatura y presión

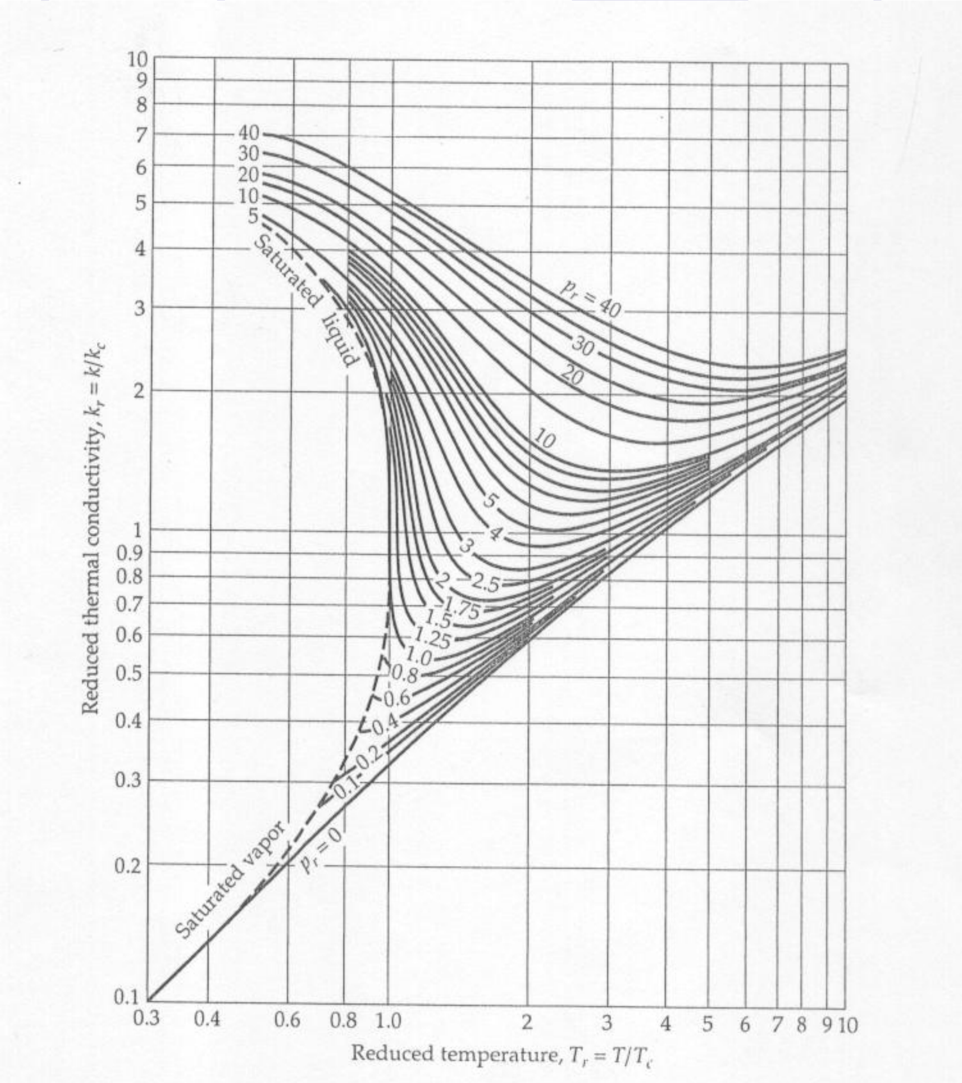
- Cuando no se conoce el valor de la conductividad para un material en particular bajo ciertas condiciones, se puede utilizar el gráfico de estados correspondientes.

$$k_r = \frac{k}{k_c} \longrightarrow$$ Conductividad Térmica Reducida

$$T_r = \frac{T}{T_c} \longrightarrow$$ Temperatura Reducida

$$p_r = \frac{p}{p_c} \longrightarrow$$ Presión Reducida

Dependencia de k en la temperatura y presión



*Tomado de: Bird, Stewart, Lightfoot, “Transport Phenomena”, 2ª Edición, Wiley 2001, p. 272

Dependencia de k en la temperatura y presión

- Para estimar el valor k_c se puede:
  - Dado k a una temperatura y presión conocidas, se puede leer k_r desde el gráfico y calcular k_c,
  - También se puede estimar el valor de k en la región de baja densidad y repetir el método del punto anterior.